

一般教室での日常的利用を考慮したデジタルペン授業システムの改良

| | |
|-----|---|
| 著者 | 三浦 元喜, 杉原 太郎, 國藤 進 |
| 雑誌名 | 日本教育工学会論文誌 |
| 巻 | 34 |
| 号 | 3 |
| ページ | 279-287 |
| 発行年 | 2010-12 |
| URL | http://hdl.handle.net/10228/00006134 |

doi: [info:doi/10.15077/jjet.KJ00006772235](https://doi.org/10.15077/jjet.KJ00006772235)

一般教室での日常的利用を考慮した デジタルペン授業システムの改良[†]

三浦元喜^{*1}・杉原太郎^{*2}・國藤進^{*2}

九州工業大学基礎科学研究系^{*1}・北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科^{*2}

本稿では、一般教室における無線デジタルペンを利用した授業システムを、日常的な運用を可能とするために行った2つの改良について述べる。まず我々が構築してきた超音波方式ペンとPDAによるシステムの操作と準備作業を軽減するため、近年利用されているアノト方式によるデジタルペンを利用可能とし、両システムを比較した。その結果、後者のシステムによる簡便性および誤差の減少が、理解度の低い生徒の積極的参加を阻害せず、またシステムが筆記をチェックすることに対する、理解度の高い生徒の緊張感を緩和することを確認した。次にアノト方式デジタルペンを用いた授業実践時に、ペンIDと受講者、およびその座席の対応関係を管理する際の教師負担を軽減する「筆席マップ方式」を提案し、システムに導入した。小学校における実践を通じて、筆席マップ方式の可用性と有効性を確認した。

キーワード：教育メディア、教具開発、コミュニケーション、ヒューマンインタフェース、教室の情報化

1. はじめに

近年携帯電話や携帯ゲーム機、ネットブック、タブレットをはじめとする無線通信機能を備えた小型情報機器が安価になり、またバッテリー寿命が改善されたことから、モバイル/ユビキタスラーニング環境(OGATA and YANO 2003; YANG and CHEN 2006)を構築しやすい状況になってきている。こうした情報機器を学習者個人が使用することで、従来の教育におけるコミュニケーションが双方向になり、興味・関心を維持しやすくなった。しかし一方で、特に低い成績の学習者にとって高度な情報機器の操作負担が問題解決時の思考を妨げる(OVIATT *et al.* 2006)という報告もあり、必ずしも先進的なメディアが学習に寄与するとは限らない。

そのため学習者とメディアを含めた学びの場をどうデザインするかが課題となっている。

我々は学習者の情報機器の操作負担を軽減しつつ、学習者の状況を詳細に教師に伝達し、集団一斉学習の効果を高めることを目的として、学習者が紙に行った筆記をデジタルペンと無線通信により自然に逐次収集するインタラクティブ学習環境 AirTransNote を開発してきた(MIURA *et al.* 2004; 三浦ほか 2005)。AirTransNote は逐次集約した授業中の受講者筆記を、教師が閲覧したりプロジェクトに投影提示したりする機能を備えている。これにより多様な意見に触れる機会を増加させ、教室内でのコミュニケーションを活性化し、集団学習の効果を高めることをねらいとしている。また教育的な意義として、丸野(2005)が提唱する「対話型授業」を支援することが挙げられる。対話型授業とは、学習者の授業に対する意欲や関心を喚起し、対人関係コミュニケーションを深め、思考・理解を深めると期待されている方法である。学習者の理解状況に応じた適切な問題設定や例示をするには、学習者の状況を正確かつ迅速に把握することが求められる。AirTransNote が授業中の筆記をリアルタイムに収集し、それを解析した結果を教師にわかりやすく伝達するこ

2010年2月15日受理

[†] Motoki MIURA^{*1}, Taro SUGIHARA^{*2} and Susumu KUNIFUJI^{*2}: Improvement of Digital Pen Learning System for Daily Use in Classroom

^{*1} Faculty of Basic Sciences, Kyushu Institute of Technology, 1-1, Sensui, Tobata, Kitakyushu, Fukuoka, 804-8550 Japan

^{*2} Japan Advanced Institute of Science and Technology, 1-1, Asahidai, Nomi, Ishikawa, 923-1292 Japan

とで、学習者の状況把握を正確かつ迅速に行えるようにし、対話型授業を支援する。また状況を学習者にも提示することで教師－学習者の対話だけではなく、学習者同士の対話を図ることもでき、対話型授業の効果を高めることが期待できる。プリントの回収ではなく電子データで回収することの教育的な意義としては、学習者の状況を教師にわかりやすく加工して伝達できることと、リアルタイムに状況を更新できること、およびプリント回収による学習者の思考作業中断を防ぎ、継続的な学習活動を可能にすることが挙げられる。

最近是我々以外にも無線デジタルペンを用いた様々な実践活動が行われている。株式会社ワオネット（2008）は Web サイトにて、一般教室において生徒の筆記情報を無線で集約し、発表や討論を行うことで、受講者の興味・関心が増加した事例を紹介している。河村ほか（2008）は、小学校高学年の英語活動に利用し、児童の考えの共有や手書きを生かした指導について言及している。また教室外の活動に関して、今井ほか（2008）はデジタルペンを用いたリメディアル教育を実施し、生徒の学習に対する意欲が維持されたことを報告している。また御園・赤堀（2008）もリメディアル教育においてデジタルペンを使用し、授業の前日に学習者の携帯にノート画像を送信することで記憶の想起に役立てる研究を行っている。これらの研究実践から、デジタルペンによる教育上の効果が徐々に確認されてきている。しかしデジタルペンを用いた授業は、教師に機材の準備や配布・設定に伴う作業負担が生じるため、一般教室における日常的な授業利用には繋がっていないのが現状である。そこで我々は三浦ほか（2005）で報告したデジタルペン授業システムについて、一般教室における日常的な利用を考慮して再デザインし、システムとして構築した。

2. 日常利用のための改良 1 : デジタルペンデバイスの変更

従来のシステムでは、図 1 に示す超音波方式のデジタルペン（Inklink）と無線送信/画面表示用の PDA を用いて、受講者の筆記を集約していた。受講者は自分が送信した筆記や、教師用 PC が筆記を解析した結果を PDA 画面で確認することができた。しかしデジタルペンと PDA を接続し、PDA 上のソフトウェアを起動する必要があり、受講者が操作方法を理解しなければならなかった。そこで我々は、アノト方式の無線デジタルペン（図 2）を利用できるようにシステムを修正

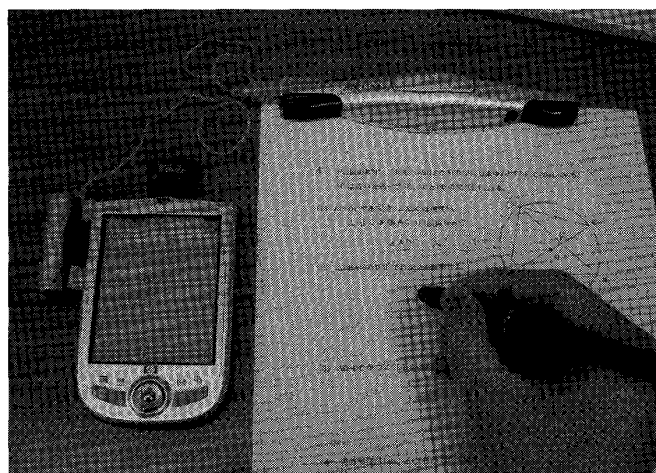


図 1 超音波方式のデジタルペンと無線筆記送信用 PDA（三浦ほか 2005）

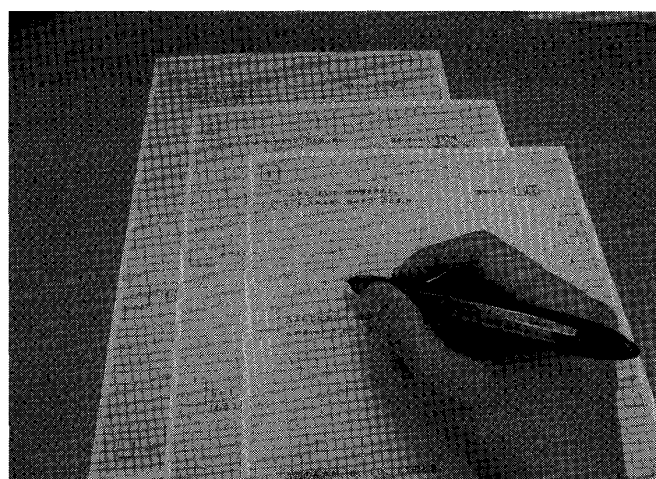


図 2 アノト方式の無線デジタルペン
（MIURA *et al.* 2007）

した。アノト方式の無線デジタルペン（例：日立マクセル DP-201 Bluetooth+USB モデル）は、ドットパターンが印刷された特殊な紙を使用する必要があるが、誤差が 1 mm 程度と超音波方式のデジタルペンと比較して筆記の精度が高い。そのため、教師用 PC 上で筆記の自動認識を行う際の誤認識率を低めることができる。また、内蔵の Bluetooth により筆記データを教師用 PC に直接送信できるため、教育現場で多数の受講者の筆記を集約するのに適している。その反面、PDA のようなディスプレイは備わっていないため、受講者にフィードバックを返すにはプロジェクタによる一斉提示を行うか、別途閲覧用のデバイスを追加する必要がある。超音波方式による従来のシステムとアノト方式によるシステムの比較を表 1 に示す。

2.1. 比較実験

従来の超音波方式によるシステムに対し、アノト方

表1 筆記集約・提示方式の比較

| 項目 | 超音波方式ペンとPDA | アノト方式ペンとプロジェクタ投影 |
|------------|-----------------------------|-------------------|
| 前準備 | クリップ型センサで紙を挟み、PDAと接続し、アプリ起動 | 不要 |
| 位置合わせ | キャリブレーションモードに設定し、紙上で3点タップ | 不要 |
| 送信のタイミング | ペン先が紙から離れたとき | SEND ボックスをタップしたとき |
| 無線送信の方式 | PDA 内蔵無線 LAN | Bluetooth (ペン内蔵) |
| 対応する用紙 | 紙の種類を問わず利用可 | 特殊なドットパターンを印刷した用紙 |
| 複数用紙への対応 | 手動設定(書く前にPDAでページ番号を設定) | 自動認識 |
| 位置誤差 | ペンの傾きや手などの障害物により数ミリ～数センチ | 1mm 程度 |
| 送信・処理結果の確認 | PDA の画面表示により確認 | プロジェクタにより確認 |

式によるシステムが受講者に与える影響を相対的に査定するため、我々は実験授業およびアンケート調査を実施した。実験授業は、S 高等学校の1年生40名を対象に実施した。1回目の授業は2006年12月に、数学1の三角比の角の拡張の単元において、超音波ペンを用いて実施し、2回目の授業は2007年2月に、同じく数学1の正弦定理や余弦定理を利用したり立体の表面積や体積を問いたりする演習科目においてアノト方式ペンを用いて、同一クラスを対象として実施した。なお1回目の授業の前日にクラス全員を対象に誤差を軽減するための位置合わせ方法や使用方法を実際に操作しながら説明する時間を設けた。ただし1回目の授業ではシステム無線通信の不具合のため超音波方式のペンを利用したのは約半数の22名であった。2回目の授業に際しては、システム操作が簡便であるため事前操作説明は行っていない。両授業ともプロジェクタを用いて受講者筆記と正解フィードバックを表示した。正解フィードバックとして、生徒が回答枠内に筆記した数値を、システムがオンライン筆記文字認識によって数字に変換し、正解データと比較したうえで、正解なら緑、不正解なら赤で回答領域を色付けした。教師は机間指導をおこなっている間、2分に1回程度の頻度で、筆記の書き込み量や正解フィードバックの色を確認した。特に筆記の書き込み量が少ない(回答が進んでいない)生徒や、不正解の生徒を中心に、机間指導を行った。机間指導後の解説で取り上げる生徒については、机間指導中に「よくある誤答」や「陥りやすいミス」をしている生徒をチェックしておき、筆記を拡大する操作を行った。教室の議論誘導としては、どこに問題があるかを問いかね、注意すべき点を指摘したあと、板書や別の生徒筆記の拡大により、正解を対比して提示した。ただし授業内容の違いにより、正解フィードバックを返す活動の数は2回目の授業のほうが多かった。

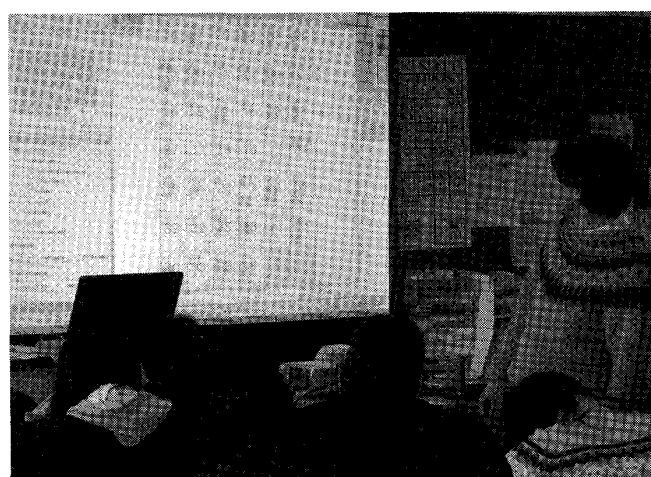


図3 2回目の授業(正解フィードバックを確認する教師)

また、超音波ペンを使用した授業では、筆記の誤差が最大1 cm程度発生し、その誤差によって筆記がずれて表示された。この誤差について生徒が指摘する場面はあったが、授業進行への支障はなかった。授業の様子を図3に示す。アンケート調査項目は、独立行政法人メディア教育開発センター(NIME)が「教育の情報化の推進に資する研究実証授業システム」(<http://it.site21.net/lec/>)として提供している意識調査用紙を参考に作成した。

図4にシステムに関する調査項目と、回答の分布グラフを示す。なお従来システムでは被験者数22名のうち5名、新システムでは被験者数40名のうち2名がアンケート未回答だったため、回答数はそれぞれ17,38であった。カイ2乗検定により群間の回答人数の偏りの差を検定した。その際の有意水準(危険率)は5%とした。項目ラベル*は、それぞれ超音波使用後の回答人数との偏りの差が有意であった項目を示す。その結果「Q2:役に立つかどうか」($\chi^2(3)=8.10, p=.044$)と、「Q5:先生に見られるのは緊張する」($\chi^2(3)=8.85, p=.031$)について、人数の偏りが有意であった。Q2

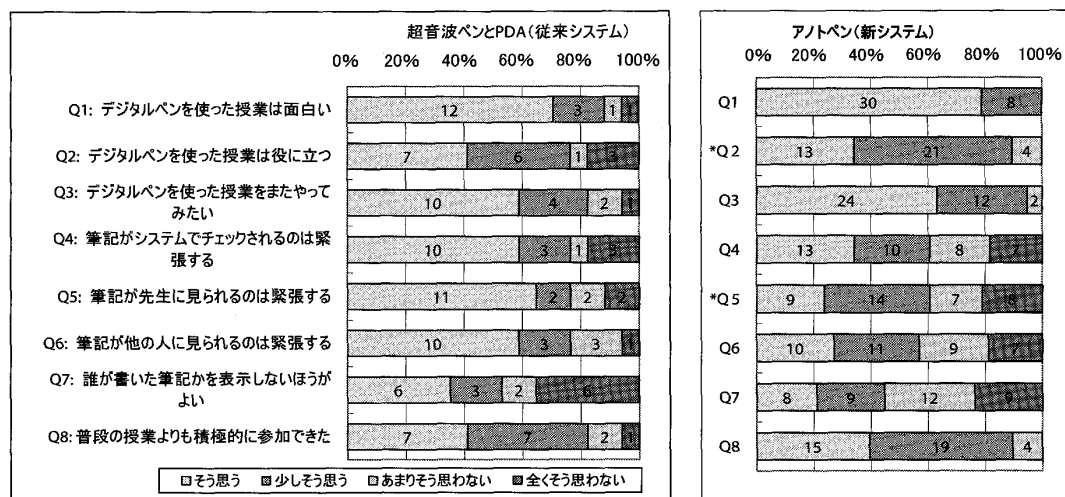


図4 システムに関するアンケート項目 (*は5%有意)

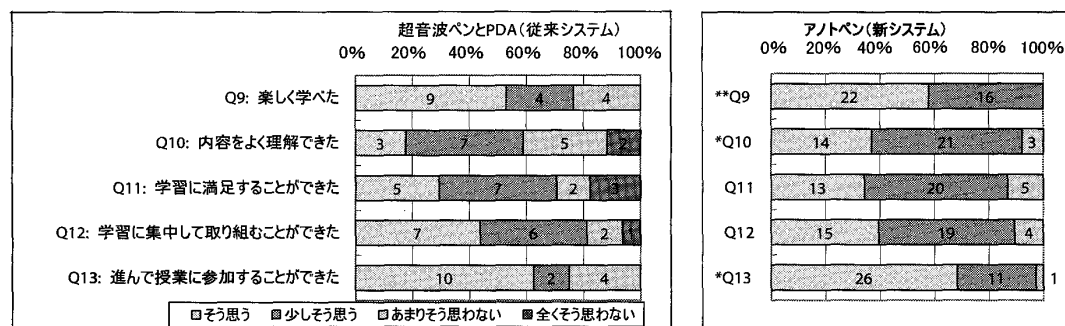


図5 授業態度に関するアンケート項目 (*は5%有意)

の効用感については、システムの簡便さにおいてアノト方式ペンが超音波方式ペンに勝ることと、1回目の授業におけるシステム不具合、および筆記の誤差が影響していると考えられる。Q5の項目をはじめ「筆記が見られることへの心理的感情や緊張感」を問う項目について「緊張しない」と答える生徒の割合が増加傾向にある。これもアノト方式になりシステム操作が簡便になったことと、ペン筆記の誤差が減少したこと、および授業内容が易しかったことが緊張感緩和の原因として考えられる¹⁾が、活動内容の違いや、正解フィードバックにより回答の可否が予測できたことも影響していると考えられるため、今回の結果からは要因を特定することは難しい。

図5に授業態度に関する回答を示す。「Q9: 楽しく学べた」($\chi^2(2)=10.1, p < .010$)、「Q10: 内容をよく理解できた」($\chi^2(3)=10.1, p = .018$)、「Q13: 進んで授業に参加することができた」($\chi^2(3)=7.41, p = .025$)において、人数の偏りが有意であった。Q9の楽しさやQ13の積極性は同じデジタルペン授業でもデバイス操作の簡便さや筆記の信頼性、および授業の難易度によって

違いが生じていると考えられる。Q10の内容理解に関しては、活動内容の違い(導入/演習)の影響が大きいと考えられる。

上記の有意差については、筆記公開授業の経験回数による慣れや、授業の難易度の違いが影響している可能性がある。ただし経験回数による慣れについては、我々が小学校を対象として行った別の実験で、アノトシステムを継続的に使用しても学習に不安を感じる一部の児童については緊張感が減少しにくいという事例がある。また同一の授業において生徒が感じる難易度にも個人差があることから、我々は「Q10: 内容をよく理解できた」の回答を各授業における個人の理解度と解釈し、この理解度と他の回答との相関(表2)に基づき、システムの差異(誤差、操作負荷)に焦点をあてて議論する。「Q4: 筆記がシステムでチェックされるのは緊張する」において、超音波システムでは正の相関があり「理解度が高い生徒ほど緊張する」という結果となった。これに対する考察としては、超音波システムでは理解度が高い生徒ほど、誤差による正解フィードバック正否への影響を気にしていたと解釈で

表2 Q10内容をよく理解できた と、他の回答との相関 (Pearson 相関係数 有意確率 (両側) * 5 %未満 ** 1 %未満)

| 項目 | 超音波 (1 回目授業) (n=17) | アノト (2 回目授業) (n=38) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Q1 デジタルペンを使った授業は面白い | 0.474 | 0.248 |
| Q2 デジタルペンを使った授業は役に立つ | 0.480 | 0.307 |
| Q3 デジタルペンを使った授業をまたやってみたい | 0.585* (p = .014) | 0.268 |
| Q4 筆記がシステムでチェックされるのは緊張する | 0.513* (p = .035) | -0.094 |
| Q5 筆記が先生に見られるのは緊張する | 0.289 | -0.121 |
| Q6 筆記が他の人に見られるのは緊張する | 0.461 | -0.130 |
| Q7 誰が書いた筆記かを表示しない方が良い | 0.413 | -0.271 |
| Q8 普段の授業よりも積極的に参加できた | 0.840** (p < .001) | -0.215 |
| Q9 楽しく学べた | 0.456 | 0.498** (p = .001) |
| Q11 学習に満足することができた | 0.621** (p = .008) | 0.512** (p = .001) |
| Q12 学習に集中して取り組むことができた | 0.614 | 0.258 |
| Q13 進んで授業に参加することができた | 0.728** (p = .001) | 0.063 |

きる。一方でアノトシステムでは誤差の心配が軽減され、理解度と緊張感との相関がなくなったと考えられる²⁾。Q8やQ13の積極性に関して、超音波システムでは理解度の高い生徒ほど積極性が高いのに対し、アノトシステムでは相関が現れていない。この結果から、操作負荷が高いシステムは理解度の低い生徒の積極的参加を阻害し、簡便なシステムのほうが、理解度が低い生徒の積極的参加を引き出すことができるといえる。上記により、アノト方式デジタルペンによる簡便性および誤差の減少が、理解度の低い生徒の積極的参加を阻害せず、またシステムが筆記をチェックすることに対し、理解度の高い生徒の緊張感を緩和することが確認できた。今後は授業の難易度や慣れの影響を考慮し、より詳細な検証を行っていきたいと考えている。

3. 日常利用のための改良2 : 筆席マップ機能

2章で述べたアノト方式のデジタルペンは、無線機能が内蔵されているためデバイス管理や配布の手間も軽減できる。しかし運用を通じて、デジタルペン特有の問題が明らかとなった。本章では、その問題を解決するための筆席マップ方式について述べる。

3.1. 固定座席設定の問題点

AirTransNote に限らず、デジタルペンを用いて受講者個人の筆記を個別に集約しながら進行する授業を運営する場合、各受講者にデジタルペンを配布する必要がある。各受講者にペンの管理を任せ、所有させておくことも考えられるが、ペン自体が高価であることと定期的な充電が必要であることから、授業開始前に配

布し、授業終了時に回収して充電しながら管理することが一般的である。授業開始前に配布する手段として、教師が受講者にペンを配布する方法と、受講者自身が自分用のペンを取りにいく方法がある。ここで、ペンのIDと受講者とを対応付ける方法が運用上の問題となってくる。デジタルペンには筆記を区別するため、個体毎に固有のIDが割り当てられているが、ペンにはボタン等の入力装置が無いため、受講者がペンのみを用いてそのIDを変更したり、使用者を設定したりする操作を行うことはできない。

そのため、教師は前者の方式 (教師が配布する方式) を採用する場合には、短時間で効率良く配布するため、あらかじめ座席順・番号順に並びかえておくなどの労力がかかる。また後者の方式 (受講者が自らペンを取りにいく方式) を採用する場合は、教師の負担は高い反面、受講者には使用するペンのIDを事前に周知しておくことと、全員の受講者が自分用のペンを取りにいて、席に戻るまでの時間を考慮する必要がある。これまでの我々の実践では、後者の方式にて、受講者に放課の時間を利用して準備してもらうことが一般的であった。

しかし、上記に挙げた方式のどちらを採用する場合にも、ペンの使用者と座席を静的に管理することにより、以下に挙げる2つの問題が発生する。一つ目はペンIDと受講者の対応は「設定ファイル」によって事前に記述しておく必要があり、教師の負担となることである。二つ目は図6に示すような「座席表」を生成するには、上記に加えて受講者の座席配置情報を入力しなければならないことである。教師にとっては、受講

| | | | | | |
|-------------------------------|-----|----|---------|----|----|
| Student Button : (講義は始まっています) | | | | | |
| 拡大 | 設定 | 筆席 | 終了 | | |
| Home | | 単一 | Group作成 | | |
| 永山 | 徳田 | 安部 | 伊藤 | 藤尾 | 新見 |
| 宮野 | 廣瀬 | 古賀 | 野田 | 小林 | 小黒 |
| 岡崎 | 井上 | 藤原 | 小西 | 木内 | 安田 |
| 古川 | 小田部 | 大越 | 尾家 | 中村 | 吉田 |
| 平田 | 坂本 | 小出 | 石坂 | 竹内 | 健原 |
| 遠藤 | 酒井 | 松下 | 木村 | 橋本 | 田中 |

図6 設定ファイルによる座席表

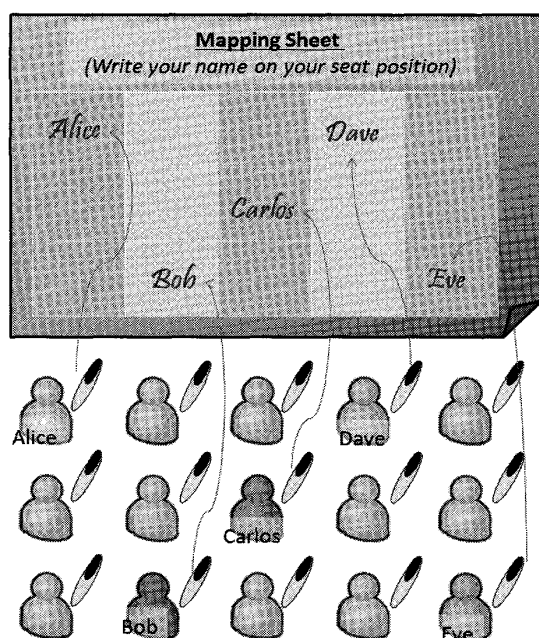


図7 筆席マップ方式の概念図

| | | | | |
|----------------------|-----|--------|------|--|
| Pen Assigned Seatmap | | | | |
| 1 | | | 9 | |
| Alice | | | Dave | |
| 16 32 | | 14 | | |
| Mike | | Carlos | | |
| Tom | | | | |
| | 28 | | 18 | |
| | Bob | | Eve | |

図8 筆席マップ方式による座席表

者の筆記を拡大表示する際に「座席表」から選択できたほうが円滑に操作できる反面、席替えに対応して座席配置情報を修正する必要があった。また上記の2つ以外の問題として、受講者のデジタルペンに何らかの障害が発生し使用できない場面や、ペンを誤配布して対応関係が崩れてしまうことが考えられる。障害が発生した場合、教師は授業の進行を中断することはできないため、なるべく短時間で問題に対応できることが望ましい。

我々は以前、PDAにRFIDタグを貼り付けて動的座席設定を行う方式(MIURA *et al.* 2005)を検討した。しかし、デジタルペンにはRFIDタグを貼り付けるスペースがあまりないため、筆記の妨げとなってしまう恐れがある。また運用においては教師が各席を巡る必要があり、教師の負担軽減効果が限定的であった。そのため、日常的な運用を想定した、より柔軟で負担の少ない方法を再検討する必要があった。

3.2. 筆席マップ方式

上記の問題を解決し、少ない負担で柔軟な運用を実現するため、受講者のデジタルペン筆記情報を用いて受講者と座席への割り当てを動的に行う「筆席マップ方式」を考案した。この方式では、ペンIDと受講者、座席の管理を教師が固定的に行うのではなく、授業の開始時に受講者の協力を得ながら協調的に行う。

具体的な手順を用いて筆席マップ方式を説明する。教師は図7の上部に示すような、教室内の座席表が印刷された用紙(座席割当用紙)を事前に数枚(たとえば、座席の列数枚)印刷しておく。そして、授業の開始時に、各座席列の一番前に座っている受講者に配布し、自分の座席に該当する箇所にも名前を記入し、後ろにまわすよう指示する。受講者が自分の座席に対応する箇所に、デジタルペンで名前を記入すると、図8に示すように教師用の画面に、受講者が記入した名前の筆跡が集約されて表示される。図8は従来の座席表(図6)と同様に、マウスクリックにより該当する受講者の筆記を拡大することができる。そのため、教師はペンIDを意識することなく、受講者の筆記を授業中で取り上げることができる。

筆席マップ方式を用いた場合、教師の事前準備は座席割当用紙を印刷するだけであり、ペン/受講者/座席の対応関係を記述する必要はない。座席割当用紙は教室の席配置における列数や行数が変更されない限り、同じ用紙が利用できるため、まとめて印刷しておくことも可能である。また筆席マップ方式を用いた場合に

は、受講者にペンをランダムに配布することができる。そのため、取り間違いや誤配布による ID の不一致問題は発生しない。また、万一ペントラブルが発生した場合にも、予備用のペンを用いて座席割当用紙に名前を記入するだけで、予備用のペンを追加登録することができる。ペンをランダムに配布することによる付加

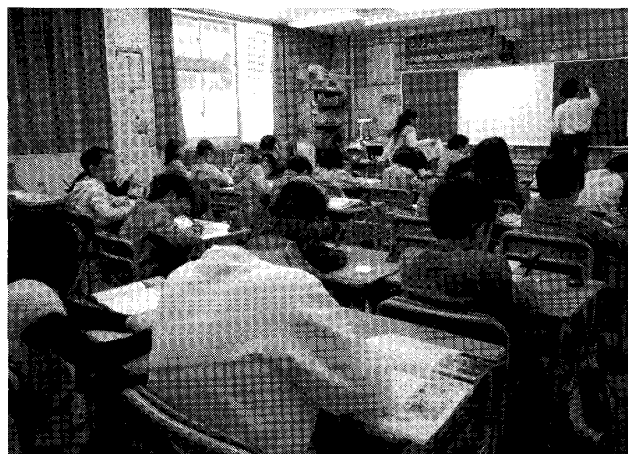


図9 小学校における運用（教室の座席配置）

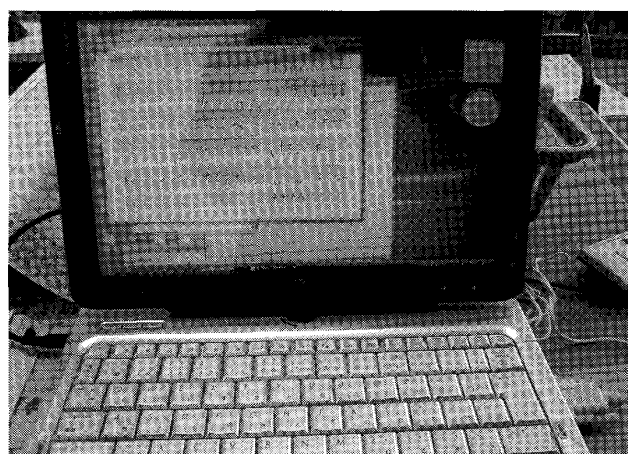


図10 小学校における運用（教師 PC 画面）

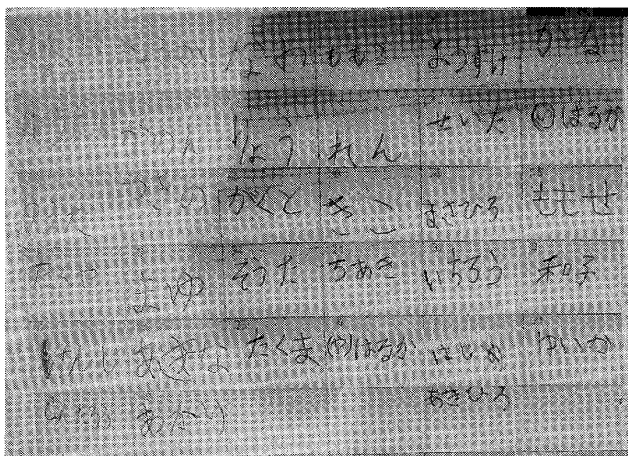


図11 図10における筆席マップ部分の拡大

的な利点としては、受講者の匿名性を高めることが挙げられる。従来方式で教師が配布する場合、どうしても連続したペン ID を用いるため、ペン ID と座席（利用者）の対応が受講者に推測できてしまうという問題があった。

3.3. 検証実験

我々は2009年の1月に、小学校2年生を対象に筆席マップ方式の検証実験を行った。小学校2年生を対象にした理由は、小学校低学年の児童でも筆席マップ方式の意図を理解し、協調的に座席表を構築できるかどうかを確認したかったためである。座席は6列×6行で、出席者は33名であった。座席割当用紙（A4サイズ）における1つの記名欄のサイズは、横30mm、高さ25mmであった。図9に、実験を行った教室の様子を示す。教師は、座席割当用紙を各列に配布し、児童には名前を書いて送信したら後ろにまわすように指示した。なお指示については座席割当用紙にも印刷しておいた。児童はデジタルペンを数回使用した経験があり、その機能や使用法についてはある程度理解していたが、座席表に名前を記入するのは初めてであった。そのため全員が記入し終えるまで5分弱と多少時間がかかったが、結果として児童は指示を理解し、混乱することなく座席表（図10、図11参照）を完成することができた。よって、筆席マップ方式は小学校低学年のクラスであっても運用可能であることが確認できた。間違えずに記名ができた理由として、2列目以後の児童は、前列の児童が書いた名前の下に、自分の名前を書くという比較的単純なタスクであったことが挙げられる。実験を行った当日の欠席者はいなかったが、もし欠席があった場合は列を間違えて記入する可能性もある。その場合でも教師があらかじめ欠席者の箇所に印をつけておくなどの配慮をすれば間違いは減ると考えられる。

また時間に関しては、児童が名前記入手順に慣れれば、教師が用紙を配布する時間を1分、児童が記名して用紙を後ろに渡す時間を20秒、列数を6と仮定した場合、3分程度で完了できると考えられる。ちなみにシステムは受講者が、座席割り当てが完了する前に書いた他の筆記も保持している。そのため、教師はすべての受講者が名前を記入し終わるまで授業開始を待つ必要はなく、演習に取り組ませるなどの柔軟な運用が可能となる。

教師は「名前」を記入するよう指示したため同一名の児童から記入法についての質問があったが、教師はわかるように記入すればよいと指示した。その結果、

それらの児童は括弧や囲みを利用して、姓の一部を併記していた（図11）。

座席割り当て用紙への筆記は、通常の筆記と同様に、授業時間内の筆記として一括して保存される。また後日筆記を呼び出して参照する場合にも、授業時と同様にシステムが筆席マップを再構成する。そのため後日筆記を閲覧する場合にも、ペン ID および受講者との対応関係を意識する必要はない。ちなみに座席表は、いつでも90度毎に回転でき、教師側や受講者側の視点に合わせることができる。

3.4. 予想される問題点

受講者が名前を記入する欄を間違えてしまうことが考えられる。その場合は、受講者が正しい欄に記名し直すだけで、ペン ID と座席の対応関係は完全に修正される。もし同一の席に複数の記名が行われた場合、システムは図8に示すように複数のペン ID をボタン上部に強調表示する。教師がペン ID にマウスカーソルを合わせると、該当するペンで行われた筆記が強調表示される。教師は記名を確認し、誤記名を行ったペン ID の筆記をメニュー選択で消去することができる。もしペンにトラブルが発生し、予備用のペンを追加する場合は、教師はメニューで「統合」を選択する。これにより、複数のペンで書かれた筆記を、1本のペンで書かれたように集約し、統合して扱うことができる。このように「統合」を行うことで、ペントラブル時の教師の負担は大幅に軽減できる。

大学の大講義室のように、座席数が極端に多い場合、座席に対応する欄が小さくなり記名が困難になる可能性がある。この場合は、座席表を分割して複数枚の座席割当用紙を用いることで解決できる。受講者が多い場合は全員が記名し終えるまでの時間がよりかかることが予想されるが、この問題は座席割当用紙を増やすことによって緩和できる。

受講者が意図的に自分の名前を座席位置に正確に記入しない、いわゆる「詐称」を行った場合には、協調的に座席表を生成する本方式は有効に機能しない。このような問題は特に高学年のクラスで発生する可能性がある。技術的には名前の筆跡特徴量を用いて認証を行い、個人を特定するといった厳密な運用で解決することも考えられる。しかし教育的な観点からは、そうした厳密な運用よりも、詐称を行うときの心理状況を尋ねたり、受講者自らの授業への参加・協力意識を高めたりする指導をするなど柔軟で人間的な解決法を探ることが望ましいと考えている。

4. ま と め

本稿では、一般教室における無線デジタルペンを利用した授業を、日常的に運用できるようにするためのシステムの改良について述べた。超音波方式のデジタルペンに比べ、アノト方式のデジタルペンを用いた場合、その簡便性および誤差の減少が、理解度の低い生徒の積極的参加を阻害せず、またシステムが筆記をチェックすることに対する、理解度の高い生徒の緊張感を緩和することを確認した。またアノト方式のデジタルペンを用いた授業実践で生じる、ペン ID と受講者、およびその座席の対応関係を維持する際の問題について述べ、それを解決する筆席マップ方式を提案し、小学校における実践により可用性と有効性を確認した。

無線デジタルペンは EduClick (HUANG *et al.* 2001) 等のリモコン型レスポンスアナライザ (RA) よりも高次の学習状況を取得でき、また教師によるスポット的な質問に限らず継続的な思考活動を取得できる点で有効である。また筆記に基づく実時間フィードバックは受講者のみならず、教師にとって教室の状況をより詳細に把握できる点で効果が期待できる。また時系列筆記データによる Explanogram (PEARS and ERICKSON 2003) に似た再生提示は、従来ビデオを用いて行われていた再生刺激法 (stimulated-recall procedures) (吉崎・渡辺 1992) による授業内のふりかえり活動を、授業の流れのなかでより簡便に実施するための基盤となり得る。そのため、本稿で述べてきた改良により、授業における日常的な運用を促進することには意義があると考えている。今後も実践を通じ、デジタルペン授業システムの改良による効果的な学習環境の構築と、有効性の検証を並行して継続していきたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（若手研究(A)、「生徒の紙への筆記を活用する学習支援システムの実践的検証」課題番号20680036、および特定領域研究：課題番号17011028）の支援によるものです。

注

- 1) 誤差減少により、自分の意図した回答と異なる筆記が提示される心配がなくなったことが、筆記開示への緊張感緩和につながったと考えられる。操作の簡便についても、位置合わせ操作が不要になり、誤差に影響する不安要因が解消されたことが

一つの要因として考えられる。

- 2) 我々は、相関がないことのほうが、正や負の相関（理解している人ほど緊張する／理解していない人ほど緊張する）よりも望ましい状況であると考えている。

参 考 文 献

- 今井順一，山本大輔，小松川浩（2008）デジタルペンを活用したリメディア教育での授業デザイン．メディア教育研究，5(1): 57-66
- HUANG, C.W., LIANG, J.K. and WANG, H.Y. (2001) EduClick: A Computer-Supported Formative Evaluation System with Wireless Devices in Ordinary Classroom. *ICCE2001*: 1462-1469.
- 株式会社ワオネット（2008）学びあい，考えあう！授業支援ツール．<http://www.pennavi.com/>.
- 河村広之，須曾野仁志，下村勉（2008）小学校英語活動における「デジタルペン」利用の試み．日本教育工学会第24回大会講演論文集：347-348
- 丸野俊一（2005）授業の効果を上げる，授業デザインの最前線．高垣マユミ編，北大路書房，pp.123-157
- MIURA, M., KUNIFUJI, S., SHIZUKI, B. and TANAKA, J. (2004) Augmented Classroom: A Paper-Centric Approach for Collaborative Learning System. *UCS2004 (LNCS 3598)*: 104-116
- 三浦元喜，國藤進，志築文太郎，田中二郎（2005）デジタルペンと PDA を利用した実世界指向インタラクティブ授業支援システム．情報処理学会論文誌，46(9): 2300-2310
- MIURA, M., KUNIFUJI, S., SHIZUKI, B. and TANAKA, J. (2005) AirTransNote: Augmenting Classrooms with Digital Pen Devices and RFID Tags. *WMTE2005*: 56-58
- MIURA, M., KUNIFUJI, S. and SAKAMOTO, Y. (2007) Practical Environment for Realizing Augmented Classroom with Wireless Digital Pens. *KES2007 (LNAI 4694)*: 777-785
- 御園真史，赤堀侃司（2008）デジタルペンと携帯電話を連携させたデジタルノートシステムの開発．日本教育工学会第24回大会講演論文集：779-780
- OGATA, H. and YANO, Y. (2003) Supporting Knowledge Awareness for a Ubiquitous CSCL. *eLearn 2003*: 2362-2369

OVIATT, S., ARTHUR, A. and COHEN, J. (2006) Quiet Interfaces that Help Students Think. *UIST 2006*: 191-200

PEARS, A. N. and ERICKSON, C. (2003) Enriching Online Learning Resources with "Explanograms". *ISICT 2003*: 261-266

YANG, J.C. and CHEN, C.H. (2006) Design of Inquiry Learning Activity Using Wireless and Mobile Technologies. *ICALT 2006*: 398-402

吉崎静夫，渡辺和志（1992）授業における子どもの認知過程－再生刺激法による子どもの自己報告をもとにして－．日本教育工学雑誌，16(1): 23-39

Summary

In this paper, we describe an improvement of AirTransNote, a student notes sharing system which facilitates collaborative and interactive learning in a regular lecture at conventional classrooms. Former AirTransNote employs ultrasonic pens and PDAs for collecting student notes on paper sheet. However the facilities required special skills and extra burdens for learners. We introduced anoto-based pens to reduce the burdens, and compared it with former system. From the experimental lectures, we confirmed that the simplicity and the stability of the anoto-based pen facilitate active participation of low-performing students. Also these factors reduced high-performing students' uneasy feeling for checking note by the system. Although the anoto-based pen is feasible, it requires teachers to manage relations between a penID, a learner, and a seat position. In order to relieve the burdens on managing relations, we proposed an instant sheet mapping method. The method utilizes learners' signatures on a special seatmap sheet, and dynamically relates the penID and the seat position from the signatures. We conducted an experimental lecture session at an elementary school, and confirmed the function effectively works for younger schoolchildren.

KEY WORDS: EDUCATIONAL MEDIA, TEACHING TOOL DEVELOPMENT, COMMUNICATION, HUMAN INTERFACE, COMPUTERS IN CLASSROOM

(Received February 15, 2010)